

VPLYV SÁLAVÉHO OHREVVU NA CHEMICKÉ ZMENY SMREKOVÉHO DREVA

THE INFLUENCE OF RADIANT HEATING ON CHEMICAL CHANGES OF SPRUCE WOOD

Iveta Čabalová – František Kačík – Danica Kačíková – Matej Oravec

ABSTRACT

Spruce wood (*Picea abies* (L.) Karst.) board samples with dimensions of 60 × 60 × 800 mm were thermally loaded by radiant heating. Then the amounts of extractives, cellulose and lignin in the samples were determined. The alterations of degree of polymerisation (DP) and molecular weight distribution (MWD) were analysed by gel permeation chromatography (GPC) of cellulose tricarbanilates (CTC). The amount of cellulose, lignin and extractives increased and cellulose DP decreased after the thermal loading. The results showed that amounts of lignin and extractives increased with increasing thermal loading, in charred layer yield of extractives decreased. The polysaccharidic part significantly degraded, cellulose DP dropped by one-third, but also cross-linking of cellulose takes place.

Keywords: spruce, radiant heating, extractives, saccharides, cellulose, lignin, gel permeation chromatography.

ÚVOD

Drevo predstavuje zložitý heterogénny koloidný systém látok pozostávajúci z hlavných (hemicelulózy, celulóza, lignín) a sprievodných zložiek. Termická odolnosť základných stavebných zložiek dreva je rozdielna. Hemicelulózy sú najmenej odolné voči termickému rozkladu. Rozkladajú sa v teplotnom intervale 170–240 °C. Celulóza je odolnejšia ako hemicelulózy. Do teploty 250 °C je rozklad celulózy mierny. V teplotnom intervale 250–350 °C nastáva intenzívny termický rozklad celulózy. Lignín je najodolnejšia zložka dreva voči termickému rozkladu. Aktívny rozklad lignínu prebieha pri teplote 300–400 °C. Pri horení dreva dochádza k termickému rozkladu väzieb jeho základných komponentov a zmene ich chemického zloženia za vzniku mnohých produktov. Popri chemickom zložení aj fyzikálne vlastnosti dreva a materiálov na báze dreva podstatnou mierou ovplyvňujú priebeh horenia. Štruktúra dreva a konštrukčná stavba materiálov na báze dreva priamo vplýva na ich horenie. Jej vplyv je daný veľkosťou pórov mikro- a makrokapilár, ktoré ovplyvňujú transport kyslíka do hmoty a odchod prchavých produktov z dreva. Z anatomických elementov sa termicky labilné javia stržňové lúče. Hustota dreva a materiálov na báze dreva významne vplýva aj na proces horenia. Materiál s vyššou hustotou spotrebuje viac energie na zapálenie a zhorenie. Dôležitejšie je ale chemické zloženie. Napr. dreviny s vyšším obsahom hemicelulózy sú horľavejšie aj v tom prípade, ak majú vyššiu hustotu. Povrch materiálu tiež významnou mierou vplýva

na horenie. Drevo vykazuje drsnosť, ktorá okrem spôsobu opracovania závisí od anatomickej stavby dreva. Kvalitný hladký povrch odráža energiu sálavého a plamenného zdroja a tým je ťažšie zápalný ako povrch drsný. Vyššia vlhkosť dreva zvyšuje jeho odolnosť voči zapáleniu. Termodynamické veličiny poskytujú dôležitý údaj o materiáloch, aj keď s ich hodnotami pri vzniknutom požiari je to problematické. Z termodynamických veličín dreva je potrebné (aj z hľadiska požiarnej ochrany) poznať: hmotnostnú tepelnú kapacitu dreva, tepelnú vodivosť, teplotnú vodivosť, súčiniteľ prestupu tepla prúdením a iné. Geometrický tvar a rozmery (hrúbka, dĺžka, priemer, počet hrán, uhly zaoblenia) vplyvajú tiež na možnosť zapálenia, rýchlosť a intenzitu procesu horenia (OSVALD 2001, TUREKOVÁ 2001, 2009, NETOPILOVÁ 2004, KAČÍKOVÁ *et al.* 2006, KAČÍKOVÁ, KAČÍK 2008, PÓLKA *et al.* 2011).

Pokles pevnostných vlastností pri termickej degradácii jednotlivých zložiek dreva však znevýhodňuje jeho použitie ako konštrukčného a stavebného materiálu. Povrch dreva sa pri radiačnom ohreve zvyšuje najmä počas prvých 60 minút pôsobenia, kedy dosiahne 90 % maximálnej teploty (DZURENDA, JOŠČÁK 2001). Vplyv radiačného ohrevu na zmeny v dreve závisia aj od druhu dreviny (MAKOVICKÁ *et al.* 2012). Skúmanie zmien chemických, mechanických, fyzikálnych a biologických vlastností termicky upraveného dreva a ich vzájomných súvislostí je potrebné z hľadiska nájdenia optimálnych vlastností pre požadovaný druh použitia. Chemické, fyzikálne a mechanické zmeny pri termickom zaťažení ako aj biologická odolnosť termicky upraveného dreva sú zhrnuté vo viacerých prácach (SHAFIZADEH 1984, REINPRECHT 1996, 1999, KAMDEM *et al.* 2002, BOONSTRA *et al.* 2007, REINPRECHT, VIDHOLDOVÁ 2008, 2011, WINDEISEN, WEGENER 2009, KUBOVSKÝ, BABIAK 2009, GULLER 2012).

Zmeny, ktoré vznikajú v dreve pôsobením zvýšenej teploty závisia od viacerých faktorov (druh dreviny, teplota, spôsob ohrevu, trvanie pôsobenia, prostredie – vzduch, inertný plyn, vákuum, vlhkosť ap.). Menia sa mechanické aj fyzikálne vlastnosti, ktoré úzko súvisia (a vo väčšine prípadov sú nimi podmienené) s chemickými zmenami. Technologický proces pri výrobe termicky modifikovaného dreva je potrebné vykonávať takým spôsobom, aby sa pri minimálnych ekonomických nákladoch dosiahli želané zmeny a na minimum boli potlačené nežiaduce efekty ohrevu dreva. Toto sú často protichodné požiadavky, ktoré nie je ľahké splniť vo všetkých oblastiach. K termickým zmenám dreva však dochádza aj pri požiaroch, nakoľko drevo je obľúbený materiál v stavebníctve na konštrukcie, v nábytkárstve, na obklady v exteriéroch aj interiéroch, ako už bolo uvedené aj pri využívaní termicky modifikovaného dreva. Znížiť vysoké hodnoty požiarnej spôsobilosti škôd je možné dvoma spôsobmi:

- vylúčením horľavých materiálov z používania,
- znížením horľavosti, zlepšením požiaro-technických vlastností horľavých látok.

Vylúčenie horľavých materiálov z používania prakticky nie je možné. Riešenie nachádzame v druhej oblasti, t.j. je potrebné zaoberať sa zvyšovaním odolnosti samotného horľavého materiálu voči zapáleniu, znižovaním rýchlosti šírenia plameňa po povrchu materiálu, zamedzením dymenia, t.j. zlepšovaním požiaro-technických vlastností horľavých hmôt (teda aj dreva a materiálov na báze dreva). Tento prístup k riešeniu problematiky však predpokladá získať dostatočné poznatky o procese termickej degradácie dreva a rôzne modifikovaných materiáloch na báze dreva (KAČÍKOVÁ, KAČÍK 2011).

Cieľom príspevku je charakterizovať chemické zmeny extraktívnych látok, lignínu, polysacharidov a zmeny molekulových hmotností celulózy smrekového dreva (*Picea abies* (L.) Karst.) po jeho tepelnom zaťažení sálavým ohrevom.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Na experimentálne práce boli zvolené hranoly s rozmermi $60 \times 60 \times 800$ mm, ktoré boli vymanipulované z jedného kusa kmeňa smreka obyčajného (*Picea abies* (L.) Karst.). Vzorky boli termicky zaťažené sálavým zdrojom tepla (keramický radiačný panel s rozmermi 480×280 mm s maximálnym výkonom radiačnej plochy $50,5 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$) vo vzdialenosti 300 mm počas 30-tich minút (TEREŇOVÁ *et al.* 2012). Po ukončení termického zaťaženia boli zo vzoriek odobraté jednotlivé vrstvy: termicky neupravená, svetlohnedá, tmavohnedá a zuhoľnatená.

Pred analýzami boli vzorky dezintegrovane a sitovaním roztriedené na frakcie. Na chemické analýzy bola použitá frakcia 0,5 až 1,0 mm. Extraktívne látky boli stanovené v Soxhletovej aparatúre zmesou etanolu a toluénu (2:1) podľa normy ASTM D 1107-96. Lignín bol stanovený podľa normy ASTM D 1106-96, celulóza podľa SEIFERTA (1956) a holocelulóza podľa WISEA *et al.* (1946).

Sacharidy boli stanovené podľa metódy NREL (National Renewable Energy Laboratory) (Sluiter *et al.* 2011) vysokoúčinnou kvapalinovou chromatografiou (HPLC) za nasledovných podmienok:

Kolóna:	Aminex HPX – 87P
Detektor:	RI
Mobilná fáza:	deionizovaná voda
Prietok mobilnej fázy:	$0,6 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$
Teplota:	$80 \text{ }^\circ\text{C}$
Injekovaný objem:	$50 \mu\text{l}$

Množstvá jednotlivých sacharidov boli stanovené metódou priamej kalibrácie. Hodnoty priemerného polymerizačného stupňa (PPS), polydisperzity (PD), molekulových hmotností M_w , M_n , M_z , M_{z+1} boli sledované gélovou permeačnou chromatografiou (GPC), kde sa použila metóda derivatizovanej celulózy vo forme trikarbanilátov (CTC). Trikarbaniláty zo vzoriek buničín (CTC) boli pripravené podľa (KAČÍK *et al.* 2009). Zo zuhoľnatej vzorky sa nepodarilo pripraviť trikarbaniláty celulózy, preto výsledky nie sú uvedené v tabuľke 4 a na obrázku 1. Podmienky chromatografickej analýzy a výpočtov sú uvedené v práci (JABLONSKÝ *et al.* 2011).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Po termickom zaťažení smrekového dreva boli vykonané analýzy v troch termicky rôzne degradovaných vrstvách (svetlohnedá, tmavohnedá a zuhoľnatená) a získané výsledky boli porovnané s pôvodným, tepelne neupraveným drevom.

Z výsledkov chemických analýz (tab. 1) je zreteľné zvyšovanie množstva extraktívnych látok, lignínu a celulózy, holocelulózy a hemicelulóz so zvyšovaním teploty zaťaženia. Výťažok extraktívnych látok významne vzrástol pri menšej degradácii dreva. Je zvýšený predovšetkým o produkty termického rozkladu lignínovej makromolekuly (FENGEL, PRZYKLENK 1970). Zuhoľnatenie dreva spôsobilo pokles extraktívnych látok z dôvodu ich menšej rozpustnosti v organických rozpúšťadlách, ktorá je spôsobená kondenzačnými reakciami. Pokles extraktívnych látok v zuhoľnatej vrstve bol zistený aj pri iných spôsoboch termického zaťaženia (KAČÍK *et al.* 2006, TUMEN *et al.* 2010). Vzrast výťažkov lignínu je v súlade so všeobecne akceptovaným javom, že pri termickom pôsobení na drevo dochádza k jeho nárastu vplyvom väčšej termickej stability v porovnaní so sacharidmi, ako aj v dôsledku jeho kondenzácie. Bol zistený pri rôznych spôsoboch ohrevu (NUOPPONEN *et al.* 2004, INARI *et*

al. 2007, WINDEISEN *et al.* 2007), rozdiely sú však pri štrukturálnych zmenách lignínu vplyvom termického pôsobenia. Okrem kondenzačných reakcií podlieha lignín aj degradácii a to najmä za miernejších podmienok pôsobenia (KAČÍK *et al.* 2006, 2007, KAČÍKOVÁ *et al.* 2008). Výťažky celulózy vzrastajú so zvyšujúcou sa termickou degradáciou, čo je však spôsobené metódou jej stanovenia. Podľa KUČEROVEJ *et al.* (2009) dochádza pri termickom pôsobení k zuhoľnateniu a zosieťovaniu celulózy, čo spolu s kondenzovaným lignínom zvyšuje výťažky „celulózy“ pri jej gravimetrickom stanovení a sumárna analýza dreva výrazne prekračuje hodnotu 100 %. Z uvedeného dôvodu bola táto metóda stanovenia celulózy doplnená analýzou sacharidov v jednotlivých vzorkách (tab. 2). V tomto prípade sumárna analýza extraktívnych látok, lignínu a sacharidov dosahuje hodnoty 101,93 % (termicky neupravená vzorka), 99,20 % (svetlohnedá vzorka), 105,71 % (tmavohnedá vzorka) a 103,19 % (zuhoľnatená vzorka).

Je všeobecne akceptovaná skutočnosť, že hemicelulózy majú nižšiu odolnosť voči termickému pôsobeniu ako celulóza. Z výsledkov v tabuľke 2 vyplýva, že pri nižších teplotách pôsobenia to platí a pomer sacharidov v celulóze k sacharidom v hemicelulózach sa zvyšuje viac ako 3-násobne. V prípade zuhoľnatej vzorky tento pomer klesá približne na pôvodnú hodnotu v neupravenom dreve. Je to pravdepodobne spôsobené výraznou deštrukciou celulózy a zvyškové množstvá hemicelulóz sa nachádzajú zabudované v kryštalickej, ťažšie prístupnej, časti celulózy, kde sú čiastočne chránené pred termickým pôsobením, podobne ako je to v prípade hydrotermickej úpravy dreva (KAČÍK 1992).

Tab. 1 Množstvá extraktívnych látok, celulózy a lignínu v analyzovaných vzorkách (výsledky sú v % a.s. dreva).

Tab. 1 Amounts of extractives, cellulose and lignin in analyzed samples (results are expressed in % odw of wood).

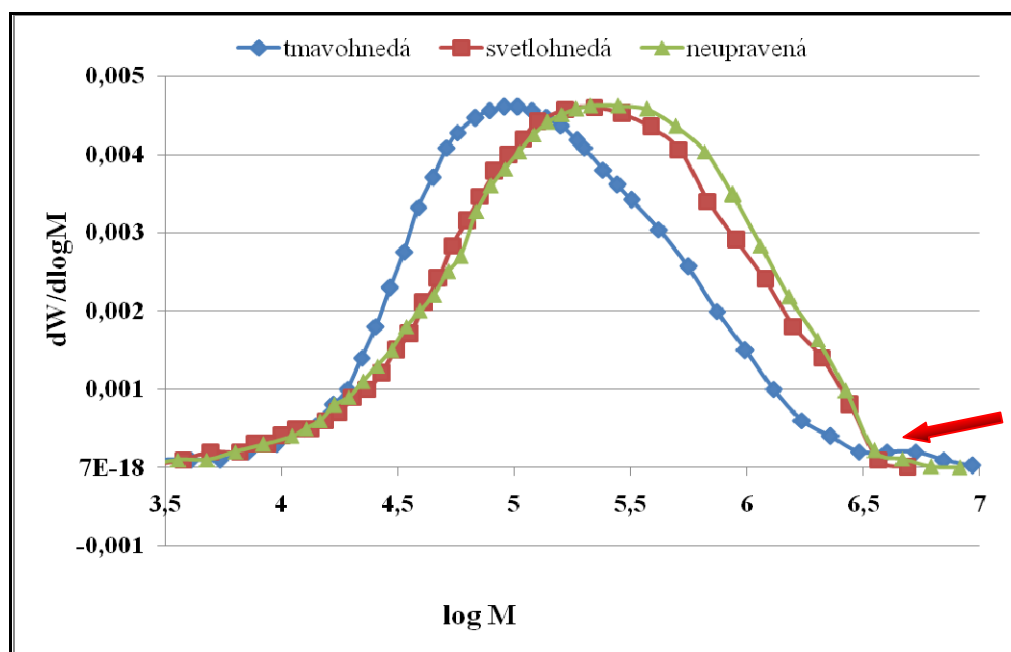
Vzorka Sample	Extraktívne látky (%) Extractives (%)	Celulóza (%) Cellulose (%)	Lignín (%) Lignin (%)
Neupravená Untreated	3,39	42,36	25,80
Svetlohnedá Light brown	4,22	43,18	26,93
Tmavohnedá Dark brown	7,73	56,33	36,13
Zuhoľnatená Charred	2,79	95,23	87,67

Tab. 2 Množstvá sacharidov v analyzovaných vzorkách (výsledky sú v % a.s. dreva).

Tab. 2 Amounts of saccharides in analyzed samples (results are expressed in % odw of wood).

Vzorka Sample	XYL (%)	GAL (%)	ARA (%)	MAN (%)	GLC- hemi (%)	GLC- cel (%)	Suma hemi SUM hemi (%)	Suma sacharidov SUM saccharides (%)	Pomer cel/hemi RATIO cel/hemi
Neupravená Untreated	4,67	0,70	1,46	13,75	4,58	47,58	25,16	72,74	1,89
Svetlohnedá Light brown	4,55	0,69	0,98	10,43	3,48	47,92	20,13	68,05	2,38
Tmavohnedá Dark brown	1,79	0,25	0,54	4,74	1,58	52,95	8,90	61,85	5,95
Zuhoľnatená Charred	1,25	0,34	0,50	1,96	0,66	8,02	4,71	12,73	1,70

XYL = D-xylóza (D-Xylose), GAL = D-galaktóza (D-Galactose), ARA = L-arabínóza (L-Arabinose), MAN = D-manóza (D-Mannose), GLC = D-glukóza (D-Glucose), hemi = hemicelulózy (hemicelluloses), cel = celulóza (cellulose), Hemi = XYL + GAL + ARA +MAN +GLC-hemi



Obr. 1 Distribúcia molekulových hmotností celulózy po termickej degradácii dreva (šípka označuje pik vysokomolekulového podielu v tmavohnedej vzorke).

Fig. 1 Molecular weight distribution of cellulose after thermal degradation of wood (arrow indicates the position of high-molecular peak in the dark brown sample).

Tab. 3 Výsledky gélovej permeačnej chromatografie celulózy v analyzovaných vzorkách.

Tab. 3 Results of gel permeation chromatography of cellulose in analyzed samples.

Vzorka Sample	M_n	M_w	M_z	M_{z+1}	PD	PPS DP
Neupravená Untreated	25 469	144 490	386 040	637 488	5,67	892
Svetlohnedá Light brown	26 007	138 476	367 121	575 754	5,32	855
Tmavohnedá Dark brown	20 790	98 430	469 524	1 251 125	4,73	608

M_n = molekulová hmotnosť číselná, M_w = molekulová hmotnosť hmotnostná, M_z = z-tová molekulová hmotnosť, M_{z+1} = z+1 molekulová hmotnosť, PD = polydisperzita (M_w/M_n), PPS = priemerný polymerizačný stupeň.

M_n = m.w. number average, M_w = m.w. weight average, M_z = m.w. z average, M_{z+1} = m.w. z+1 average, M_v = m.w. viscosity average, PD (polydispersity) = M_w/M_n , DP = degree of polymerisation.

Z distribučných kriviek molekulových hmotností (obr. 1) ako aj z vypočítaných hodnôt vo vzorkách celulózy izolovaných z termicky upravených aj neupravených smrekových vzoriek vyplýva, že v svetlohnedej vzorke dochádza k miernemu poklesu vysokomolekulových podielov v dôsledku štiepenia glykozidových väzieb. Tento jav sa prejavuje v posunoch na distribučnej krivke aj v poklese všetkých hodnôt molekulových hmotností, polydisperzity aj priemerného polymerizačného stupňa (obr. 1, tab. 3). V tmavohnedej vzorke dochádza k výraznému posunu maxima píku k nižším hodnotám, čo vedie k poklesu hodnôt M_w aj priemerného polymerizačného stupňa. Zároveň však dochádza k vzniku malého píku (v obrázku 1 vyznačené šípkou) pri vysokých molekulových hmotnostiach, čo spôsobuje vzrast hodnôt M_z a M_{z+1} . Tento jav môže byť spôsobený zosieťovaním celulózy (KATO, CAMERON 1999) a bol pozorovaný aj pri urýchlennom starnutí papiera (Kačík *et al.* 2009).

ZÁVER

Z experimentálnych výsledkov získaných pri termickej degradácii smrekového dreva sáľavým ohrevom vyplývajú nasledovné závery:

- množstvo lignínu a množstvo extraktívnych látok vzrastá so stúpajúcou teplotou, avšak v zuhoľnatej vrstve dochádza k poklesu extraktívnych látok,
- polysacharidový podiel sa výrazne odbúrava vplyvom zvyšujúcej sa teploty,
- celulóza podlieha zuhoľnateniu, čo sa spolu s kondenzovaným lignínom prejavuje v jej zvýšenom množstve pri stanovení podľa Seiferta a v nízkom obsahu sacharidov v termicky degradovanom dreve,
- priemerný polymerizačný stupeň celulózy vplyvom ohrevu klesol o 1/3, v celulóze dochádza zároveň aj k sieťovacím reakciám,
- pri sumárnej analýze dreva boli lepšie výsledky získané pri stanovení jednotlivých sacharidov v porovnaní s gravimetrickým stanovením celulózy.

LITERATÚRA

- BOONSTRA M., ACKER J., KEGEL E., STEVENS M. 2007. Optimisation of a two-stage heat treatment process: Durability aspects. *Wood Sci. Technol.*, 41(1): 31–57. ISSN: 0043-7719.
- DZURENDA L., JOŠČÁK T. 2001. Temperature change of spruce wood surface non-stationary heated by radiation heat source. *Wood Res.*, 46(4): 35–44. ISSN 1336-4561.
- FENGEL, D., PRZYKLENK, M. 1970. Über die Veränderungen des Holzes und seiner Komponenten im Temperaturbereich bis 200 °C - Fünfte Mitteilung: Einfluß einer Wärmebehandlung auf das Lignin in Fichtenholz. *Holz Roh- Werkstoff*, 28(7): 254–263. ISSN 0018-3768.
- INARI G. N., MOUNGUENGUI S., DUMARCAY S., MATHIEU P., GERARDIN P. 2007. Evidence of char formation during wood heat treatment by mild pyrolysis. *Polymer Degradation and Stability*, 92: 997–1002. ISSN 0141-3910.
- JABLONSKÝ M., KATUŠČÁK S., KAČÍK F., KAČÍKOVÁ D. 2011. Changes in newsprint paper during accelerated ageing. *Cellulose Chem. Technol.*, 45(5–6): 405–411. ISSN 0576-9787.
- KAČÍK F. 1992. Zmeny chemických zložiek javorového dreva (*Acer pseudoplatanus* L.) v procese hydrotermickej úpravy. Habilitačná práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 42 s.
- KAČÍK F., KAČÍKOVÁ D., BUBENÍKOVÁ T. 2006. Spruce wood lignin alteration after infrared heating at different wood moistures. *Cellulose Chem. Technol.*, 2006, 40(8): 643–648. ISSN 0576-9787.
- KAČÍK F., BUBENÍKOVÁ T., KAČÍKOVÁ D. 2007. Zmeny štruktúry lignínu pri termickom pôsobení na smrekové drevo. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, XLIX(1): 35–43. ISSN 1336–3824.
- KAČÍK F., KAČÍKOVÁ D., JABLONSKÝ M., KATUŠČÁK S. 2009. Cellulose degradation in newsprint paper ageing. *Polymer Degradation and Stability*, 94(9): 1509–1514. ISSN 0141-3910.
- KAČÍKOVÁ D., NETOPILOVÁ M., OSVALD A. 2006. Drevo a jeho termická degradácia. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 79 s., ISBN: 80-86634-78-7.
- KAČÍKOVÁ D., KAČÍK F. 2008. Vplyv termického pôsobenia na lignín smrekového dreva. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, L(1): 65–72, ISSN 1336–3824.
- KAČÍKOVÁ D., KAČÍK F., BUBENÍKOVÁ T., KOŠÍKOVÁ B. 2008. Influence of fire on spruce wood lignin changes. *Wood Research*, 53(4): 95–103. ISSN 1336-4561.
- KAČÍKOVÁ D., KAČÍK F. 2011. Chemické a mechanické zmeny dreva pri termickej úprave. Zvolen: TU vo Zvolene. 71 s. ISBN 978-80-228-2249-7.
- KAMDEM P. D., PIZZI A., JERMANNAUD A. 2002. Durability of heat-treated wood. *Holz Roh- Werkst.*, 60(1): 1–6. ISSN 0018-3768.
- KATO K. L. , CAMERON R. E. 1999. A review of the relationship between thermally-accelerated ageing of paper and hornification. *Cellulose*, 6: 23–40, ISSN 0969-0239.

- KUBOVSKÝ I., BABIAK M. 2009. Color changes induced by CO₂ laser irradiation of wood surface. *Wood Res.* 54(3): 61–66. ISSN 1336-4561.
- KUČEROVÁ V., KAČÍK F., SOLÁR R., SIVÁK J. 2009. Porovnanie rôznych metód stanovenia celulózy po termickej degradácii smrekového dreva. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 51(1): 5–10. ISSN 1336–3824.
- MAKOVICKÁ-OSVALDOVÁ L., OSVALD A., KAČÍKOVÁ D. 2012. Coniferous Wood – Reaction on Fire in Forest Condition. *American International Journal of Contemporary Research*, 2(7): 37–46. ISSN 2162-139X.
- NETOPILOVÁ M. 2004. *Materiály: Stavební materiály*. Ostrava: SPBI, 2004. 125 s., ISBN 80-86634-27-2.
- NUOPPONEN M., VUORINEN T., JAMSÄ S., VIITANIEMI P. 2004. Thermal modifications in softwood studied by FT-IR and UV resonance Raman spectroscopies. *J. Wood Chem. Technol.*, 24: 13–26. ISSN 0277-3813.
- OSVALD A. 2001. *Horenie dreva*. Bratislava: STU Bratislava, s. 22–24.
- PÓLKA M., KONECKI M., POLAKOVIČ P. 2011. Analysis of the range of visibility in smoke from combustion of some polymeric materials. *Przemysl Chemiczny*, 90(8): 1567–1572.
- REINPRECHT L. 1996. *Procesy degradácie dreva*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 150 s.
- REINPRECHT L. 1999. Smrekové drevo v komplexe chemických, termických a biologických poškodení. *Vedecké štúdie 3/1998/B*, Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 81 s. ISBN 80-228-0778-8.
- REINPRECHT L. 2008. *Ochrana dreva*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6.
- REINPRECHT L., VIDHOLDOVÁ Z. 2008. *Termodrevo – príprava, vlastnosti a aplikácie*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 89 s. ISBN 978-80-228-1920-6.
- REINPRECHT L., VIDHOLDOVÁ Z. 2011. *Termodrevo*. Ostrava: Šmíra-Print, s.r.o., 89 s. ISBN 978-80-87427-05-7.
- SEIFERT V. K. 1956. Über ein neues Verfahren zur Schnellbestimmung der Rein-Cellulose. *Das Papier*, s. 301–306.
- SHAFIZADEH F. 1984. The chemistry of pyrolysis and combustion. In: *The chemistry of solid wood* (Rowell, R. M. ed.) *Adv. Chem. Ser.*, 207, Am. Chem. Soc., Washington, s. 489–529.
- SLUITER A., HAMES B., RUIZ R., SCARLATA C., SLUITER J., TEMPLETON D., CROCKER D. 2011. Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass: Laboratory Analytical Procedure (LAP). NREL/TP-510-42618. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. Dostupné na internete: <<http://www.nrel.gov/biomass/pdfs/42618.pdf>> (21.8.2011).
- TEREŇOVÁ E., LAGAŇA R., KUVIK M. 2012. The charring layer evaluation of the load-bearing timber members. In: *Wood & Fire Safety*, s. 319–326, ISBN 978-80-87427-23-1.
- TUMEN I., AYDEMIR D., GUNDUZ G., UNER B., CETIN H. 2010. Changes in the chemical structure of thermally treated wood. *Bioresources*, 5(3): 1936–1944, ISSN 1930-2126.
- TUREKOVÁ I. 2001. Vysokoteplotná degradácia dreva. *ARPOS*, (3–4): 1–12, ISSN 1335-5910.
- TUREKOVÁ I. 2009. Study of High-Temperature Degradation by Lignocellulose Materials. *Forschungszentrum Dresden – Rossendorf*, 130 s. ISBN 978-3-941405-08-0.
- WINDEISEN E., STROBEL C., WEGENER G. 2007. Chemical changes during production of thermo-treated beech wood. *Wood Sci. Technol.*, 41: 523–536.
- WINDEISEN E., WEGENER G. 2009. Chemical characterization and comparison of thermally treated beech and ash wood. *Materials Science Forum*, (599): 143–158, ISSN 0255-5476.
- WISE L.E., MURPHY M., D'ADDIECO A.A. 1946. Chlorite holocellulose, its fraction and bearing on summative wood analysis and on studies on hemicelluloses. *Paper Trade J.*, 122: 35–43. ISSN 0031-1197.

Pod'akovanie

Autori ďakujú agentúre VEGA za finančnú podporu pri riešení projektu 1/0446/12, v rámci ktorého vznikol prezentovaný príspevok.

Adresa autorov

Ing. Iveta Čabalová, PhD.
Prof. RNDr. František Kačík, PhD.
Bc. Matej Oravec
Technická univerzita vo Zvolene
Drevárska fakulta
Katedra chémie a chemických technológií
cabalova@tuzvo.sk
kacik@tuzvo.sk
xoravecm2@is.tuzvo.sk

doc. RNDr. Danica Kačíková, PhD.
Technická univerzita vo Zvolene
Drevárska fakulta
Katedra protipožiarnej ochrany
kacikova@tuzvo.sk
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
Slovenská republika